

PUB-NO: JP411064797A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11064797 A

TITLE: PHASE DIFFERENCE PINHOLE TYPE OPTICAL ELEMENT AND CONFOCAL MICROSCOPE USING IT

PUBN-DATE: March 5, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NISHIDA, KAZUHIRO

TACHIKAWA, SHIGERU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD

ISHIKAWAJIMA SYST TECHNOL KK

APPL-NO: JP09217758

APPL-DATE: August 12, 1997

INT-CL (IPC): G02 B 27/58; G02 B 21/00

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a phase difference pinhole type optical element whose depth of focus is deep and which can achieve high resolution and a confocal microscope using it.

SOLUTION: This confocal microscope is used for detecting the image of a sample 24 by transmitting a laser beam 12 through a spatial filter 15, condensing them at the sample 24 through an objective lens 21 and transmitting the regular reflected light thereof through the filter 15. Then, a spatial phase filter 20 transmitting the light of the central part and the peripheral part of the laser beam and shifting both of the light by giving the phase difference of  $1/2 \lambda$  is made to intervene in the optical path of the beams 12 in the filter 15.

COPYRIGHT: (C)1999, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-64797

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月5日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 27/58  
21/00

識別記号

F I

G 0 2 B 27/58  
21/00

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-217758

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月12日

(71) 出願人 000000099

石川島播磨重工業株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(71) 出願人 591057485

石川島システムテクノロジー株式会社  
東京都品川区上大崎一丁目1番17号

(72) 発明者 西田 和弘

茨城県新治郡出島村加茂5236番地 石川島  
播磨重工業株式会社土浦事業所内

(72) 発明者 立川 茂

東京都品川区品川区上大崎1丁目1番17号  
石川島システムテクノロジー株式会社内

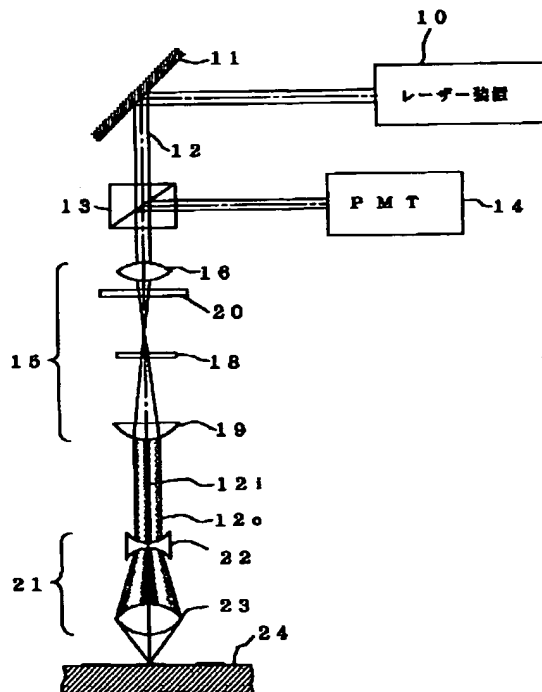
(74) 代理人 弁理士 絹谷 信雄

(54) 【発明の名称】 位相差ピンホール型光学素子及びこれを用いた共焦点顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 焦点深度が深く超高解度を達成できる位相差ピンホール型光学素子及びこれを用いた共焦点顕微鏡を提供する。

【解決手段】 レーザービーム12を空間フィルタ15を通し対物レンズ21を通してサンプル24に集光し、その正反射光を空間フィルタ15を通してそのサンプル24の像を検出するための共焦点顕微鏡において、空間フィルタ15のレーザービーム12の光路に、レーザービームの中心部と周囲部の光を通すと共に両光を1/2λ位相差をもたせてシフトさせる空間位相フィルタ20を介設したものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 空間フィルタの光路にレーザービームの中心部と周囲部の光を通すと共に両光に $1/2$ 入位相差をもたせてシフトさせる空間位相フィルタを介設したことを特徴とする位相差ピンホール型光学素子。

【請求項2】 レーザービームを空間フィルタを通して対物レンズを通してサンプルに集光し、その正反射光を空間フィルタを通してそのサンプルの像を検出するための共焦点顕微鏡において、空間フィルタのレーザービームの光路に、レーザービームの中心部と周囲部の光を通すと共に両光を $1/2$ 入位相差をもたせてシフトさせる空間位相フィルタを介設したことを特徴とする位相差ピンホール型共焦点顕微鏡。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、共焦点型顕微鏡の光路中に挿入して像の高分解能を達成できる位相差ピンホール型光学素子及びこれを用いた共焦点顕微鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来のレーザー共焦点顕微鏡（商品名：SiSCAN）は、2次元計測イメージを生成すべく、光源から出た光をレンズでピンホールに集光し、ピンホールを通過した光を対物レンズによって物体面に集光し、物体からの正反射光が同様の光路を通過して再度同一のピンホール（または最初のピンホールと共役な位置にあるピンホール）を通過させることにより、焦点が合っていない反射光をピンホールでカットし、正確に焦点の合った反射光のみを通過させ、その反射光を適宜光電子倍増管で検出してサンプルの2次元像を得るようにしている。

【0003】これを図3により説明する。

【0004】レーザー発振装置10から出射されたレーザービーム12は、反射鏡11で90度反射され、ビームスプリッタ13で、sかpの直線偏光成分にされ、空間フィルタとしてのビームエキスパンダ15により、先ず凸レンズ16で集光されてピンホール17を通り、 $1/4$ 入板18を通過して、コリメートレンズ19で、ビームサイズが拡張されたビーム12aとされ、対物レンズ21にて、サンプル23に集光し、その反射光が、対物レンズ21、コリメートレンズ19を通り、 $1/4$ 入板18を通過して円偏光にされピンホール17に戻り、そこで焦点の合っていない反射光はカットされ、焦点の合った反射光のみ、凸レンズ16を通り、ビームスプリッタ13で、sまたはpの偏光成分が反射されて光電子倍増管14で検出される。

【0005】このレーザー共焦点顕微鏡では、ごく浅い焦点深度を実現することで、超解像が実現されていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このことは、光軸方向

に高さのあるサンプルには非常に有効であるが、例えば、フォトマスクのような高さのない（少ない）サンプル24に対しては、その実力を完全には発揮できない。

【0007】すなわち、レーザー共焦点顕微鏡は、焦点深度が非常に浅い特性を利用して分解能を向上させるが、フォトマスクのような高さのないサンプル24においては、光の回折による影響をそのまま受け、回折光がノイズとなり、高解像度の像が得られない問題がある。

【0008】高解像度を得るには、サンプル24の焦点面でのスポットサイズを小さくすればよいが、共焦点顕微鏡に用いるレーザービーム12は、ガウス分布をっており、このレーザービーム12aを対物レンズ21でサンプル24に正確に焦点合わせして焦点面に結像させ、その正反射光を検出しようとしても、焦点面での最小の結像スポットサイズ $w_0$ は、対物レンズの開口数（NA）と波長 $\lambda$ で決まってしまうため、回折限界以上に結像スポットサイズを小さくすることができない。

【0009】従って、従来の共焦点顕微鏡のレーザービームのスポットサイズは、通常の顕微鏡と同様に回折限界にしばられ、高解像度の2次元像を得ることが困難である。

【0010】そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、焦点深度が深く超高解像度を達成できる位相差ピンホール型光学素子及びこれを用いた共焦点顕微鏡を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために請求項1の発明は、空間フィルタの光路にレーザービームの中心部と周囲部の光を通すと共に両光に $1/2$ 入位相差をもたせてシフトさせる空間位相フィルタを介設した位相差ピンホール型光学素子である。

【0012】請求項2の発明は、レーザービームを空間フィルタを通して対物レンズを通してサンプルに集光し、その正反射光を空間フィルタを通してそのサンプルの像を検出するための共焦点顕微鏡において、空間フィルタのレーザービームの光路に、レーザービームの中心部と周囲部の光を通すと共に両光を $1/2$ 入位相差をもたせてシフトさせる空間位相フィルタを介設した位相差ピンホール型共焦点顕微鏡である。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適一実施の形態を添付図面に基いて詳述する。

【0014】図1において、10はHe-Cdレーザ等のレーザー発振装置、11は、レーザー発振装置10からのレーザービーム12を90度反射させる反射鏡、13はビームスプリッタ、14は、ビームスプリッタ13に戻った反射光を検出する光電子増倍管（PMT）、15は、空間フィルタを構成するビームエキスパンダで、主に凸レンズ16、 $1/4$ 入板18、及びコリメートレンズ19からなる。21は、凹レンズ22と凸レンズ23

からなる対物レンズ、24は、フォトマスクなどのサンプルである。

【0015】本発明においては、このビームエキスパンダ15の空間フィルタとして使用されるピンホールとして、空間位相フィルタ20を用いたことにある。

【0016】この空間位相フィルタ20は、ガラス基板からなり、図2(a)に示すように、レーザービームの中心部が通る中心ホール25とビームの周囲部を通るリング状のホール26で形成し、そのホール25、26以外はCr膜27を形成し、ビーム径の中間をリング28でカットし、中心ホール25を通るレーザービーム12iと周囲部を通るレーザービーム12oの波長差が $1/2\lambda$ となるよう、ガラスの厚さを変えてフェーズシフトするよう構成し、この空間位相フィルタ20をビームエキスパンダ15の凸レンズ16の焦点位置より凸レンズ16側に位置して介設したことにある。

【0017】レーザー発振装置10から出射されたレーザービーム12は、反射鏡11で90度反射され、ビームスプリッタ13で、sかpの直線偏光成分にされ、ビームエキスパンダ15により、まず凸レンズ16で集光されて空間位相フィルタ20を通り、そこで中心部のホール25を通ったレーザービーム12iに対して周囲部のホール26を通るレーザービーム12oが、 $1/2$ 波長位相が遅れるようにシフトされ、それぞれ $1/4\lambda$ 板18を通して、コリメートレンズ19で、中心部ビームサイズが拡張されたビームとされ、対物レンズ21にて、サンプル24に集光し、その反射光が、対物レンズ21、コリメートレンズ19を通り、 $1/4\lambda$ 板18を通して円偏光にされ、空間位相フィルタ20、凸レンズ16を通り、ビームスプリッタ13で、sまたはpの偏光成分が反射されて光電子倍增管14で検出される。

【0018】本発明においては、上述したように、空間位相フィルタ20を図2(a)に示すようにレーザービームの中心部が通る中心ホール25とビームの周囲部を通るリング状のホール26で形成し、ホール25、26を通る両レーザービーム12の波長差を、 $1/2\lambda$ となるよう、フェーズシフトするようにしたことにある。これにより、回折限界以下のビームスポットを作り出すことが可能となり、結果として、焦点深度の深いスポットで、サンプルを計測することが可能となる。

【0019】以下、これを図2、図4により詳しく説明する。

【0020】図2は、本発明の空間位相フィルタを用いた場合を示し、図4は、アパーチャ型のピンホール17の場合を示す。

【0021】図4(a)に示すピンホール17を透過するレーザーの光軸に対する透過率は、図4(b)に示したようになり、結像面の光強度分布は、図4(c)に示したように、全体に低く、また焦点ぼけを $0\sim 1.5\mu\text{m}$ で変化させると焦点ぼけが大きくなるほど、回折光の

干渉で光強度が低くなることがわかる。

【0022】これに対して、図2に示すように本発明の空間位相フィルタを用いた場合、図2(a)に示す中心ホール25と周辺部ホール26を透過するレーザーの光軸に対する透過率は、図2(b)に示したようになり、結像面の光強度分布は、図3(c)に示したようになる。

【0023】レーザービーム12の光強度は、中心が高く、中心から径方向に指数関数的に低くなるガウス分布であり、凸レンズ16を通して集光されるレーザービームは、中心のピンホール25を通るレーザービーム12iは、光強度の高い、結像に関わる光束となり、逆に、リング状のホール26を通るレーザービーム12oは、中心部のレーザービーム12iの光に対して $1/2\lambda$ 位相がシフトされたリング状のビームとなり、図2(b)に示すように位相のずれた透過率分布となる。

【0024】そして、これらレーザービーム12i、12oが対物レンズ21を通してサンプル24の焦点面に結像する。

【0025】この時、中心のレーザービーム12iの像は、広がった回折像として、周辺のリング状のレーザービーム12oも広がったリング状に結像し、重なり合った裾野は、位相差が $1/2\lambda$ 波長シフトされているため、干渉して打ち消しあう。

【0026】この結果、図2(c)の光強度分布が示すように、焦点面上には非常に鋭く尖った中心0次光のパターンが出現する。また、やや焦点が外れたところでも、焦点ズレにより裾野の重なりが大きくなり、結果として、ややピーク強度が下がるもののビーム径としては大差のない0次のピークが出現する。

【0027】また、焦点を $0\sim 1.5\mu\text{m}$ に変えても中心の光強度は、落ちないため焦点深度の深いものとなる。

【0028】この結果、空間位相フィルタを用いた共焦点顕微鏡はその特徴である焦点方向の高い分解能を捨てて焦点移動に余り関係しない小径スポットを手にいれることにより、高さを持たない試料の形状観察、寸法計測などに、高い安定性と、分解能と相反する特徴を有することができるようになる。

40 【0029】

【発明の効果】以上要するに本発明によれば、回折限界より小さなスポットサイズが得られ、かつ焦点深度が深く超高度の2次元計測が行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示す図である。

【図2】図1に用いる空間位相フィルタを説明する図である。

【図3】従来の共焦点顕微鏡を示す図である。

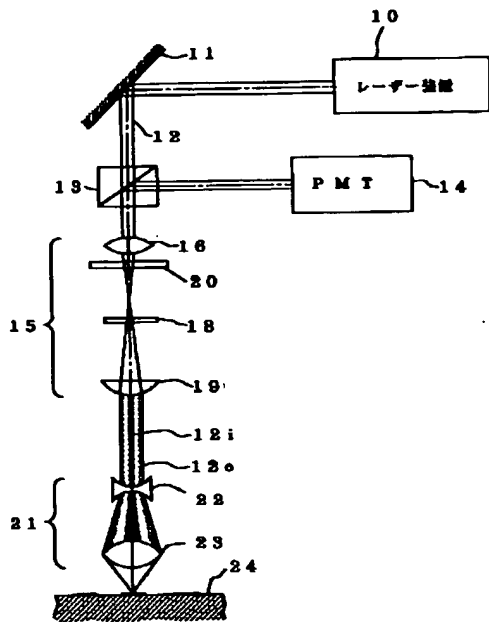
【図4】図3に用いるピンホールを説明する図である。

50 【符号の説明】

- 12 レーザービーム  
15 空間フィルタ (ビームエキスパンダ)  
20 空間位相フィルタ

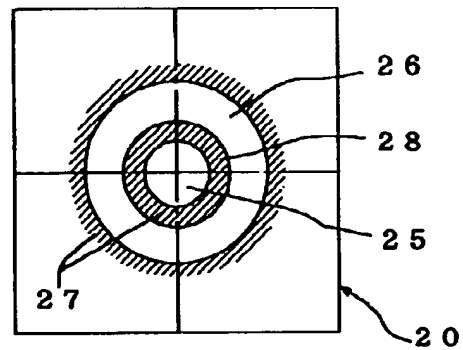
- 21 対物レンズ  
24 サンプル

【図1】

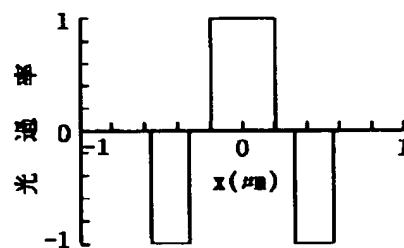


【図2】

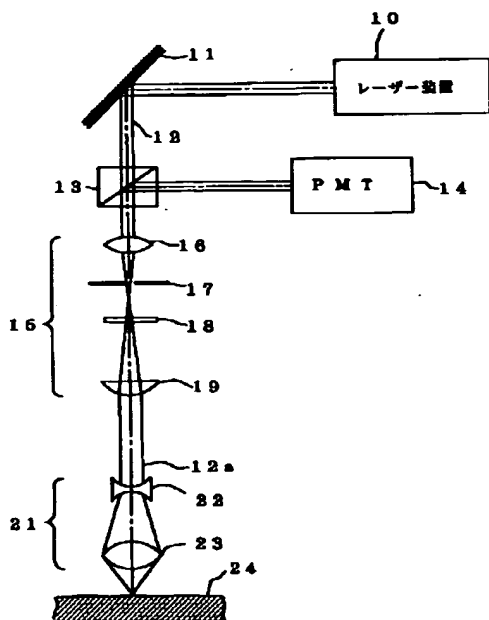
(a)



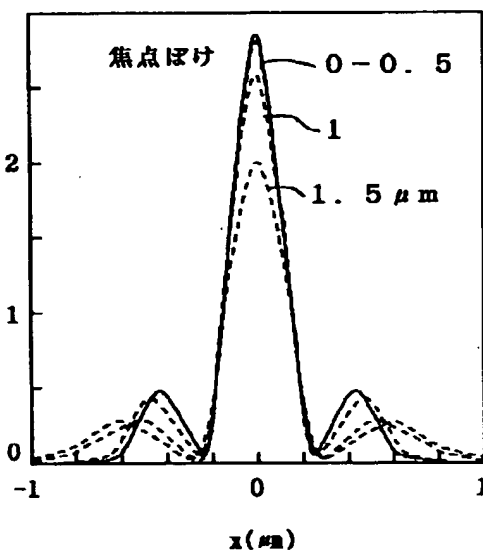
(b)



【図3】

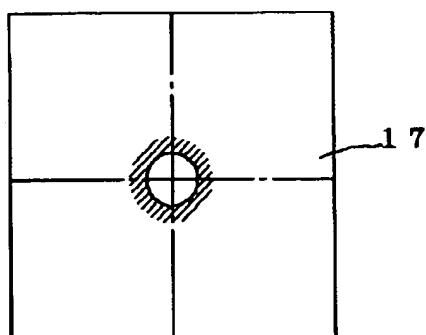


光強度

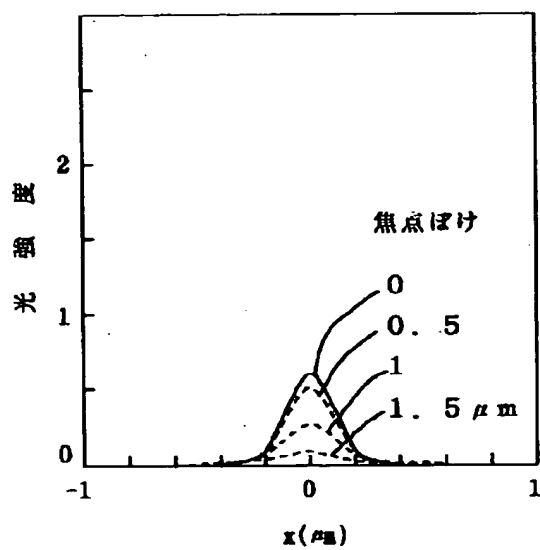
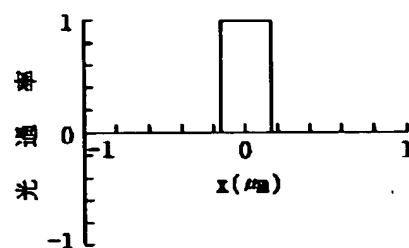


【図4】

(a)



(b)



\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the confocal microscope using the phase contrast pinhole mold optical element and this which insert into the optical path of a confocal mold microscope, and can attain the high resolution of an image.

[0002]

[Description of the Prior Art] The conventional laser confocal microscope (trade name; SiSCAN) The light which came out of the light source is condensed at a pinhole with a lens that a two-dimensional measurement image should be generated. When the light which passed through the pinhole is condensed to a body side with an objective lens and the specular reflection light from a body passes the same pinhole (or the first pinhole and the pinhole in a location [ \*\*\*\* ]) again through the same optical path The reflected light which is not to the point is cut at a pinhole, only the reflected light whose focus suited correctly is passed, and he detects the reflected light by the photo multiplier suitably, and is trying to obtain the two-dimensional image of a sample.

[0003] Drawing 3 explains this.

[0004] The laser beam 12 by which outgoing radiation was carried out from laser oscillation equipment 10 It is reflected 90 degrees with a reflecting mirror 11, and is made the linearly polarized light component of s or p by the beam splitter 13. With the beam expander 15 as a spatial filter It is first condensed with a convex lens 16, passes along a pinhole 17, and passes along  $1/4\lambda$  plate 18. With a collimate lens 19 It is referred to as beam 12a by which the diameter of beam size was expanded. With an objective lens 21 It condenses to a sample 23. The reflected light an objective lens 21 and a collimate lens 19 A passage, The reflected light which then [ return and ], is made into the circular polarization of light through  $1/4\lambda$  plate 18, and is not to the point at a pinhole 17 is cut, and only the reflected light whose focus suited passes along a convex lens 16, it is beam SUPURIDDA 13 and it is detected [ the polarization component of s or p is reflected and ] by the photo multiplier 14.

[0005] Super resolution was realized by realizing the very shallow depth of focus by this laser confocal microscope.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Although this is very effective in the sample which has height in the direction of an optical axis, it cannot demonstrate the ability completely to the sample 24 which does not have height like a photo mask, for example (few).

[0007] That is, although the depth of focus raises resolution using a very shallow property as for a laser confocal microscope, in the sample 24 without height like a photo mask, the effect by the diffraction of light is received as it is, the diffracted light serves as a noise, and there is a problem from which the image of high resolution is not obtained.

[0008] Although what is necessary is just to make small spot size in the focal plane of a sample 24 in order to obtain high resolution, the laser beam 12 used for a confocal microscope Even if it has Gaussian distribution, and focusing of this laser-beam 12a tends to be correctly carried out to a sample 24 with an

objective lens 21, it is going to make a focal plane carry out image formation and it is going to detect that specular reflection light. The minimum image formation spot size  $w_0$  in a focal plane. Since it is decided by the numerical aperture (NA) and wavelength  $\lambda$  of an objective lens, image formation spot size cannot be made small beyond a diffraction limitation.

[0009] Therefore, the spot size of the laser beam of the conventional confocal microscope is difficult to be bound to a diffraction limitation like the usual microscope, and to obtain the two-dimensional image of high resolution.

[0010] Then, the purpose of this invention solves the above-mentioned technical problem, and the depth of focus is to offer the confocal microscope using the phase contrast pinhole mold optical element and this which can attain the degree of super-\*\*\*\* deeply.

[0011]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, invention of claim 1 is the phase contrast pinhole mold optical element which interposed the space phase filter which gives and shifts  $1/2\lambda$  phase contrast to both light while letting the light of the core of a laser beam, and the perimeter section pass to the optical path of a spatial filter.

[0012] Invention of claim 2 is the phase contrast pinhole mold confocal microscope which interposed the space phase filter which  $1/2\lambda$  phase contrast is given [filter], and shifts both light to it while letting the light of the core of a laser beam, and the perimeter section pass to the optical path of the laser beam of a spatial filter in the confocal microscope for condensing a spatial filter for a laser beam to a sample through a through objective lens, and detecting the image of the sample for the specular reflection light through a spatial filter.

[0013]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of suitable 1 operation of this invention is explained in full detail based on an accompanying drawing.

[0014] In drawing 1, the photo-multiplier (PMT) which detects the reflected light from which the reflecting mirror which 10 reflects laser oscillation equipments, such as helium-Cd laser, and 11 makes reflect the laser beam 12 from laser oscillation equipment 10 90 degrees, and 13 returned to the beam splitter, and 14 returned to the beam splitter 13, and 15 are the beam expanders which constitute a spatial filter, and mainly consist of a convex lens 16,  $1/4\lambda$  plate 18, and a collimate lens 19. The objective lens with which 21 consists of a concave lens 22 and a convex lens 23, and 24 are samples, such as a photo mask.

[0015] In this invention, it is in having used the space phase filter 20 as a pinhole used as a spatial filter of this beam expander 15.

[0016] As this space phase filter 20 consists of a glass substrate and it is shown in drawing 2 (a) It forms in the central hole 25 along which the core of a laser beam passes, and the hole 26 of the shape of a ring which passes along the perimeter section of a beam. So that the Cr film 27 may be formed except the hole 25 and 26, the middle of a beam diameter may be cut in a ring 28 and the wavelength difference of laser-beam 12i passing through the central hole 25 and laser-beam 12o which passes along the perimeter section may be set to  $1/2\lambda$ . It constitutes so that the thickness of glass may be changed and a phase shift may be carried out, and it is in having located and interposed this space phase filter 20 in the convex lens 16 side from the focal location of the convex lens 16 of the beam expander 15.

[0017] The laser beam 12 by which outgoing radiation was carried out from laser oscillation equipment 10. It is reflected 90 degrees with a reflecting mirror 11, and is made the linearly polarized light component of s or p by the beam splitter 13. With the beam expander 15 Laser-beam 12o which passes along the hole 26 of the perimeter section to laser-beam 12i which was first condensed with the convex lens 16, passed along the space phase filter 20, and passed along the hole 25 of a core there. It is shifted so that about  $1/2$  wave of phase may be overdue, and it passes along  $1/4\lambda$  plate 18, respectively. With a collimate lens 19 It considers as the beam by which the diameter of core beam size was expanded. With an objective lens 21 It condenses to a sample 24, and it passes along an objective lens 21 and a collimate lens 19, and the reflected light is made into the circular polarization of light through  $1/4\lambda$  plate 18, and passes along the space phase filter 20 and a convex lens 16. By beam



SUPURIDDA 13 The polarization component of s or p is reflected and it is detected by the photo multiplier 14.

[0018] As mentioned above in this invention, it forms in the central hole 25 where the core of a laser beam passes along the space phase filter 20 as shown in drawing 2 (a), and the hole 26 of the shape of a ring which passes along the perimeter section of a beam, and is in having been made to carry out the phase shift of the wavelength difference of both the laser beams 12 passing through holes 25 and 26 so that it might be set to  $1/2\lambda$ . This becomes possible to make the beam spot below a diffraction limitation, and it becomes possible as a result to measure a sample at a spot with the deep depth of focus.

[0019] Hereafter, drawing 2 and drawing 4 explain this in detail.

[0020] Drawing 2 shows the case where the space phase filter of this invention is used, and drawing 4 shows the case of the pinhole 17 of an aperture mold.

[0021] As the optical intensity distribution of an image formation side were shown in drawing 4 (c) by having come to have shown the permeability to the optical axis of the laser which penetrates the pinhole 17 shown in drawing 4 (a) in drawing 4 (b), it is low to the whole, and it turns out that optical reinforcement becomes low by interference of the diffracted light, so that a blooming will become large, if a blooming is changed by 0-1.5 micrometers.

[0022] On the other hand, as shown in drawing 2, when the space phase filter of this invention is used, the permeability to the optical axis of the laser which penetrates the central hole 25 shown in drawing 2 (a) and the periphery hole 26 came to be shown in drawing 2 (b), and the optical intensity distribution of an image formation side came to be shown in drawing 3 (c).

[0023] The optical reinforcement of a laser beam 12 has a high core, are the Gaussian distribution which becomes low exponentially in the direction of a path from a core, and the laser beam condensed through a convex lens 16 Laser-beam 12i passing through the central pinhole 25 Becoming the flux of light in connection with image formation with optical high reinforcement, conversely, laser-beam 12o passing through the ring-like hole 26 becomes the beam of the shape of a ring to which  $1/2\lambda$  phase was shifted to the light of laser-beam 12i of a core, and becomes the permeability distribution from which the phase shifted as shown in drawing 2 (b).

[0024] And these laser beams 12i and 12o carry out image formation to the focal plane of a sample 24 through an objective lens 21.

[0025] At this time, image formation of the image of laser-beam 12i of a core is carried out to the shape of a ring in which laser-beam 12o of the shape of a surrounding ring also spread as a spreading diffraction figure, and since  $1/2\lambda$ -wave length shift of the phase contrast are carried out, it interferes in overlapping Susono, and it is negated and suits.

[0026] Consequently, as the optical intensity distribution of drawing 2 (c) show, on a focal plane, the pattern of a main zero-order light which sharpened very keenly appears. Moreover, even place [ from which the focus separated a little ], the lap of Susono becomes large by focal gap, and as a result, although peak intensity falls a little, the zero-order peak which does not have great difference as a beam diameter appears.

[0027] Moreover, even if it changes a focus into 0-1.5 micrometers, main optical reinforcement becomes what has the deep depth of focus in order not to fall.

[0028] Consequently, the confocal microscope using a space phase filter can have now the description which disagrees with high stability and resolution in configuration observation of a sample without height, dimension measurement, etc. by obtain the minor diameter spot which throws away the high resolution of the direction of a focus which is that description, and is seldom related to focal migration.

[0029]

[Effect of the Invention] Above, in short, according to this invention, a spot size smaller than a diffraction limitation is obtained, and the depth of focus is deep and two-dimensional measurement of the degree of super-\*\*\*\* can be performed.